

Structuring the surface of materials

Publication number: DE4405203

Publication date: 1995-08-24

Inventor: VOGLER KLAUS DIPL PHYS DR RER (DE)

Applicant: AESCULAP WERKE AG (DE)

Classification:

- international: *B23K26/00; B23K26/40; B27M1/06; B29C59/16; B44C1/00; B44C1/22; B67B7/92; C03B33/095; C03C23/00; C04B41/00; C04B41/80; B29C35/08; B23K26/00; B27M1/00; B29C59/00; B44C1/00; B44C1/22; B67B7/00; C03B33/00; C03C23/00; C04B41/00; C04B41/80; B29C35/08; (IPC1-7): B23K26/08; B23K26/00; B27M1/00; B29C59/16; B44C1/22; C03C23/00; C04B41/53*

- european: *B23K26/00F4; B23K26/40B; B23K26/40B2; B23K26/40B5; B23K26/40B6C; B23K26/40B10; B27M1/06; B29C59/16; B44C1/00B; B44C1/22L; B67B7/92; C03B33/095B; C03C23/00B8; C04B41/00L; C04B41/80*

Application number: DE19944405203 19940218

Priority number(s): DE19944405203 19940218

Report a data error here

Abstract of **DE4405203**

Material such as glass, plastic, semiconductor material, wood or ceramic is surface worked using a laser beam of wavelength 1.4-3.0 μ m.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 44 05 203 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
B 23 K 26/00
C 03 C 23/00
C 04 B 41/53
B 44 C 1/22
B 29 C 59/16
B 27 M 1/00
// B23K 26/08

21 Aktenzeichen: P 44 05 203.0
22 Anmeldetag: 18. 2. 94
43 Offenlegungstag: 24. 8. 95

DE 44 05 203 A 1

71 Anmelder:
Aesculap AG, 78532 Tuttlingen, DE
74 Vertreter:
Grießbach und Kollegen, 70182 Stuttgart

72 Erfinder:
Vogler, Klaus, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 90542 Eckental,
DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zur Bearbeitung von Glas, Kunststoff, Halbleitern, Holz oder Keramik mittels Laserstrahlung

57 Um ein Verfahren zur Bearbeitung von Glas, Kunststoff, Halbleitern, Holz oder Keramik mittels Laserstrahlung, bei dem man ein aus einem dieser Stoffe bestehendes und zu bearbeitendes Werkstückteil mit einem Laserstrahl beaufschlägt und dadurch die Beschaffenheit des Werkstückteiles verändert, so auszugestalten, daß eine qualitativ hochwertige und effiziente Materialbearbeitung mit relativ geringem technischen Aufwand erfolgen kann, wird vorgeschlagen, daß man Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von etwa 1,4 µm bis 3,0 µm verwendet. Außerdem wird eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens vorgeschlagen mit einer Laserstrahlungsquelle, die Laserstrahlung in Form eines Laserstrahles emittiert, und mit einer Fokussierungsoptik, die die Laserstrahlung auf ein Werkstückteil fokussiert, wobei die Laserstrahlung eine Wellenlänge von etwa 1,4 µm bis 3,0 µm aufweist.

DE 44 05 203 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 06. 95 508 034/136

8/32

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bearbeitung von Glas, Kunststoff, Halbleitern, Holz oder Keramik mittels Laserstrahlung, bei dem man ein aus einem Laser-Stoffe bestehendes und zu bearbeitendes Werkstückteil mit einem Laserstrahl beaufschlägt und dadurch die Beschaffenheit des Werkstückteils verändert.

Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens mit einer Laserstrahlungsquelle, die Laserstrahlung in Form eines Laserstrahles emittiert, und mit einer Fokussierungsoptik, die die Laserstrahlung auf ein aus Glas, Kunststoff, Halbleiter, Holz oder Keramik bestehendes Werkstückteil fokussiert.

Vorrichtungen zur Materialbearbeitung, bei denen ein Werkstückteil mit Hilfe von Laserstrahlung bearbeitet wird, werden insbesondere im Falle metallischer Werkstückteile zum Schweißen, Schneiden oder Härten verwendet. Dabei finden vor allem leistungsstarke Kohlendioxyd-Laser Anwendung, die Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 10,6 μm emittieren.

Kohlendioxyd-Laser werden auch zur Bearbeitung von Dielektrika oder Naturstoffen eingesetzt. Die Bearbeitung dieser Stoffe mit einem Kohlendioxyd-Laser hat allerdings in vielen Fällen eine thermische Schädigung in Form einer Verkohlung der Ränder der bearbeiteten Bereiche zur Folge. Aufgrund dieser schädlichen Nebenwirkung des Kohlendioxyd-Lasers läßt sich dieser für eine präzise Bearbeitung von nicht-metallischen Werkstoffen nur sehr bedingt einsetzen.

Neben dem Kohlendioxyd-Laser ist in der Materialbearbeitung der Nd : YAG-Laser sehr verbreitet. Mit Hilfe dieses Lasers läßt sich Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 1,064 μm erzeugen. Der Nd : YAG-Laser hat gegenüber dem Kohlendioxyd-Laser den Vorteil, daß seine Strahlung von den meisten Metallen besser absorbiert wird und daß diese Strahlung über Lichtleitfasern übertragen werden kann. Zur Bearbeitung nichtmetallischer Werkstoffe ist jedoch der Nd : YAG-Laser nur beschränkt geeignet, da seine Strahlung insbesondere von Kunststoffen und von organischen Materialien nur zu einem geringen Teil absorbiert wird, so daß die Anwendung des Nd : YAG-Lasers für die Materialbearbeitung dieser Stoffe ineffizient ist.

Zur Strukturierung von Halbleitern und Kunststoffen werden als Laserstrahlungsquellen Excimerlaser eingesetzt, die ultraviolette Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 0,308 μm , 0,248 μm oder 0,193 μm emittieren. Die Anwendung dieser Laserstrahlung in der Materialbearbeitung hat den Vorteil, daß sich damit sehr feine Abtragungsstrukturen mit Ablationsraten im Bereich kleiner als 1 μm erzielen lassen, ohne daß dabei die Randbereiche beeinflusst werden. Die Abtragung erfolgt dabei allerdings durch Photoablation an der unmittelbaren Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückteiles, so daß sich mit Hilfe des Excimerlasers lediglich geringe Abtragungsraten erzielen lassen. Der Excimerlaser hat außerdem den Nachteil, daß er einen hohen Wartungsaufwand erfordert, insbesondere deshalb, da zu seinem Betrieb sehr reine Gase erforderlich sind, die zudem aufgrund ihrer toxischen Wirkung ein hohes Gefährdungspotential für das Betriebspersonal darstellen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Bearbeitung von Glas, Kunststoff, Halbleitern, Holz oder Keramik mittels Laserstrahlung anzugeben, mit dem eine qualitativ hochwertige und effiziente Bearbeitung mit relativ geringem technischem Aufwand erfolgen

kann.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß man Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von etwa 1,4 μm bis 3,0 μm verwendet.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird zur Bearbeitung der genannten Stoffe Laserstrahlung im mittleren Infrarotbereich verwendet, die von diesen Stoffen stark absorbiert wird und einen effektiven Abtragungsmechanismus bewirkt. Die Eindringtiefe der Laserstrahlung läßt sich dabei von einem Bereich kleiner als 1 μm bis in den Millimeterbereich durch Anpassung der Wellenlänge der Laserstrahlung an die Grundabsorption des zu bearbeitenden Stoffes variieren, wobei die verwendeten Wellenlängen jedoch immer im Bereich von ungefähr 1,4 μm bis 3,0 μm liegen. Die Abtragung erfolgt durch einen thermo-mechanischen Effekt, indem der zu bearbeitende Stoff durch die Wirkung der Laserstrahlung lokal sehr stark aufgeheizt wird, so daß es zu sogenannten Mikroexplosionen kommt. Im Gegensatz zu Kohlendioxyd-Lasern ist mit der Einwirkung der Laserstrahlung im mittleren Infrarotgebiet auf die genannten Stoffe keine Verkohlung der Ränder der bearbeiteten Bereiche verbunden, so daß mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens eine präzise Bearbeitung dieser Materialien möglich ist.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens wird die Beschaffenheit des Werkstückteiles durch Strukturieren verändert. Da eine thermische Schädigung der Randbereiche, wie sie bei der Anwendung von Kohlendioxyd-Lasern beobachtet wird, praktisch nicht auftritt, lassen sich mit der Laserstrahlung im mittleren Infrarot-Gebiet Glas, Kunststoff, Halbleiter, Holz oder Keramik präzise strukturieren, beispielsweise beschriften oder auch schneiden.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, daß man die Laserstrahlung auf das Werkstückteil fokussiert und Strukturen mit einer Ausdehnung von etwa 1 μm bis 500 μm aufbringt. Dadurch lassen sich beispielsweise in Folien aus Kapton oder Mylar Bohrungen im Mikrometerbereich einbringen.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, daß man ein Glasteil mit dem Laserstrahl beaufschlägt, lokalisiert aufschmilzt und anschließend abkühlt. Durch das Aufschmelzen und anschließende Abkühlen des Glasteils in einem eng begrenzten Gebiet, beispielsweise in einem Brennpunkt des Laserstrahles, werden in dem Glasteil mechanische Spannungen induziert, die eine Sollbruchstelle bewirken, wie dies beim mechanischen Einritzen bekannt ist. Das Glasteil kann anschließend leicht, beispielsweise manuell, gebrochen werden kann, wobei die Einwirkung der Laserstrahlung zur Folge hat, daß das Glasteil beim Aufbrechen nicht — wie beim Brechen mit Hilfe eines Glasschneiders üblich — an den Randbereichen der Bruchstelle aufsplittert. Auf diese Weise lassen sich beispielsweise Glasrohre, Glasstäbe oder Glasfasern präzise auftrennen, ohne daß es zu einer Randsplitterung kommt, so daß eine Nachbearbeitung, wie zum Beispiel eine Abrundung der Kanten, oder eine Reinigungsprozedur zur Beseitigung von Restsplintern entfallen können.

Bei einer besonders vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, daß man zum Öffnen einer Glasampulle die Wand der Glasampulle lokalisiert aufschmilzt und nach erfolgter Abkühlung mechanisch aufbricht. Dadurch lassen sich insbesondere in der Medizin Ampullen, die beispielsweise sterile Lösungen zum

Einspritzen beinhalten, leicht öffnen, indem durch die Wirkung der Laserstrahlung Sollbruchstellen erzeugt werden, so daß die Glasampullen ohne Randsplitterung sauber aufgebrochen werden können. Die Wellenlänge der Laserstrahlung kann dabei an die Grundabsorption des Glases angepaßt sein, so daß beispielsweise je nach Dicke der verwendeten Glasampulle die Sollbruchstellen in vordefinierter Tiefe erzeugt werden.

Der Erfindung liegt außerdem die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung so auszugestalten, daß das beschriebene Verfahren mit ihr durchführbar ist. Diese Aufgabe wird bei einer Vorrichtung der eingangs beschriebenen Art dadurch gelöst, daß die Laserstrahlung eine Wellenlänge von etwa $1,4\text{ }\mu\text{m}$ bis $3,0\text{ }\mu\text{m}$ aufweist.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung ist vorgesehen, daß die Vorrichtung eine den Laserstrahl und das Werkstückteil relativ zueinander bewegende Bewegungseinrichtung umfaßt. Beispielsweise kann der Laserstrahl über Umlenkelemente auf das Werkstückteil gelenkt werden, wobei die Umlenkelemente verschwenkbar sind, so daß der Laserstrahl über die Oberfläche des ortsfesten Werkstückteiles geführt werden kann. Die Bewegungseinrichtung kann beispielsweise von einer Steuereinrichtung gesteuert werden, so daß an vorbestimmten Stellen zum Beispiel eine Reihe von Bohrungen angebracht werden können oder das Werkstückteil beschriftet werden kann.

Die Laserstrahlungsquelle kann gepulste Laserstrahlung emittieren mit einer Pulsdauer von etwa 1 ps bis 10 ms und mit einer Energie von etwa 1 mJ bis 100 J . Die gepulste Laserstrahlung ist insbesondere zur Mikrostrukturierung geeignet, d. h. zum Aufbringen von Strukturen im Mikrometerbereich, da dadurch in einem kurzen Zeitintervall eine verhältnismäßig große Strahlungsenergie appliziert werden kann und es aufgrund der kurzen Einwirkungszeit nicht zu einer Strukturvergrößerung dadurch kommt, daß die applizierte Energie bei andauernder Bestrahlung in benachbarte Bereiche weitergeleitet wird.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Vorrichtung, die sich insbesondere zum Beschriften oder zum Aufschmelzen eines ausgedehnten Bereiches des Werkstückteiles eignet, ist vorgesehen, daß die Laserstrahlungsquelle kontinuierliche oder kontinuierlich modulierte Laserstrahlung emittiert mit einer Leistung von etwa 1 mW bis 100 W .

Um Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von etwa $1,4\text{ }\mu\text{m}$ bis $3,0\text{ }\mu\text{m}$ zu erzeugen, ist es vorteilhaft, wenn die Laserstrahlungsquelle ein laseraktives Material umfaßt, das mit Erbium, Holmium, Chrom, Neodym oder Thulium dotiert ist.

Die Laserstrahlungsquelle kann beispielsweise als Festkörperlaser ausgebildet sein, der in einer vorteilhaften Ausführungsform einen YAG-, einen YAP- oder einen YSGG-Kristall umfaßt.

Die nachfolgende Beschreibung vorteilhafter Ausführungsformen der Erfindung dient im Zusammenhang mit beiliegender Zeichnung der näheren Erläuterung. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Beschriften von Glas, Kunststoff, Halbleitern, Holz oder Keramik;

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Erzeugung von Sollbruchstellen in Glasrohren.

Bei der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung emittiert ein Er:YAG-Laser 10 einen Laserstrahl 12, der mit Hilfe einer Aufweitoptik 14 aufgeweitet und mit Hilfe

eines ersten Umlenkspiegels 16 und eines zweiten Umlenkspiegels 18 auf ein Werkstück in Form einer Glasplatte 20 gelenkt wird. Zwischen dem zweiten Umlenkspiegel 18 und der Glasplatte 20 ist im Strahlengang des Laserstrahles 12 eine Fokussierungsoptik 22 angeordnet, durch die der Laserstrahl 12 auf die Oberfläche der Glasplatte 20 fokussiert wird.

Während die Glasplatte 20 auf einer Halteplatte 24 ortsfest angeordnet ist, sind der erste Umlenkspiegel 16 und der zweite Umlenkspiegel 18 verschwenkbar gehalten. Dabei steht die Verschwenkachse des ersten Umlenkspiegels 16, die durch eine Haltestange 26 des ersten Umlenkspiegels 16 definiert wird, senkrecht zur Verschwenkachse des zweiten Umlenkspiegels 18, die ihrerseits durch eine Haltestange 28 definiert wird. Während die Haltestange 26 eine Verbindung herstellt zwischen dem ersten Umlenkspiegel 16 und einem Motor 36, stellt die Haltestange 28 eine Verbindung her zwischen dem zweiten Umlenkspiegel 28 und einem Motor 38.

Die Motoren 36 und 38 bilden einen Antrieb für die Umlenkspiegel 16 bzw. 18 und werden von einer gemeinsamen Steuerungseinrichtung 40 gesteuert.

Mit Hilfe der Steuerungseinrichtung 40 und der Motoren 36 und 38 lassen sich die Umlenkspiegel 16 und 18 in vorbestimmter Weise verschwenken, so daß der Laserstrahl 12 entlang einer definierten Strecke über die Oberfläche der Glasplatte 20 geführt wird und diese beispielsweise beschriftet werden kann.

In gleicher Weise kann statt der Glasplatte 20 ein Werkstück aus einem Dielektrikum, beispielsweise ein Kunststoffteil, oder ein Naturstoff wie Holz, Keramik, Stein oder auch ein Halbleitermaterial mit Hilfe des Laserstrahles 12 bearbeitet werden.

In Fig. 2 ist eine Vorrichtung zur Erzeugung von Sollbruchstellen in Glasteilen dargestellt, bei der ein von einem Er:YAG-Laser 50 erzeugter Laserstrahl 52 mit Hilfe eines Umlenkspiegels 54 auf ein Glasrohr 56 gerichtet wird. Der Laserstrahl 52 wird mit Hilfe einer zwischen dem Umlenkspiegel 54 und dem Glasrohr 56 im Strahlengang des Laserstrahles 52 positionierten Fokussierungsoptik 58 auf die Wand 60 des Glasrohres 56 gebündelt.

Das Glasrohr 56 wird von einem Transportband 62 getragen, das um eine Antriebswalze 64 und eine Mitläuferwalze 66 geführt ist. Die Antriebswalze 64 ist über eine Antriebsstange 68 mit einem Elektromotor 70 verbunden und wird von diesem in Drehung versetzt, so daß das Transportband 62 und das von ihm gehaltene Glasrohr 56 quer zur Ausbreitungsrichtung des Laserstrahles 52 verschoben werden.

Der Elektromotor 70 ist ebenso wie der Er:YAG-Laser 50 über eine Steuerleitung 72 mit einer Steuereinheit 74 verbunden.

Der Er:YAG-Laser emittiert Laserimpulse mit einer Pulsdauer von etwa $50\text{ }\mu\text{s}$ bis 1 ms . Durch die Einwirkung der Laserstrahlung, deren Energie im Bereich von etwa 10 mJ bis 20 J liegt, wird das Glasrohr 56 im Brennpunkt des Laserstrahles 52 lokal aufgeschmolzen. Die Eindringtiefe des Laserstrahles 52 ist abhängig von der Grundabsorption des verwendeten Glases und der Laserstrahlenergie, so daß sich durch Wahl der Energie des Laserstrahles 52 die Eindringtiefe und damit die Ausdehnung der lokalen Aufschmelzzone variieren läßt.

Während des Betriebes der in Fig. 2 dargestellten Vorrichtung wird das Glasrohr 56 mit Hilfe des vom Elektromotor 70 angetriebenen Transportbandes 62 quer zur Ausbreitungsrichtung des Laserstrahles 52 verschoben, wobei die Vorschubgeschwindigkeit des

Transportbandes 62 und die Repetitionsrate des Er : YAG-Lasers mit Hilfe der Steuereinheit 74 so aufeinander abgestimmt werden können, daß jeweils nur ein von der Steuereinheit 74 initiiertes Laserimpuls auf einen bestimmten Bereich der Wand 60 des Glasrohres 56 einwirkt und dort ein lokales Aufschmelzen bewirkt. Die Größe der Aufschmelzzone ist durch Veränderung der Laserenergie oder der Art der Fokussierung an den Durchmesser und die Wandstärke des Glasrohres 56 anpaßbar. Die Aufschmelzzone kühlt nach der Einwirkung des Laserstrahles 52 wieder ab, und durch das Aufschmelzen und Abkühlen werden in der Wand 60 des Glasrohres 56 mechanische Spannungen hervorgerufen. Dadurch läßt sich das Glasrohr 56 anschließend in Höhe der Aufschmelzzone mechanisch brechen, ohne daß es dabei zu einer Randsplitterung des Glasrohres 56 kommt, wie dies beim mechanischen Einritzen mit Hilfe eines Glasschneiders in der Regel der Fall ist. Aufgrund der fehlenden Randsplitterung kann eine mechanische Nachbehandlung des Glasrohres 56 ebenso entfallen wie ein Reinigungsprozeß zur Entfernung von Restsplintern.

Da für die Erzeugung von Sollbruchstellen im Glasrohr 56 nur eine kurzzeitige Einwirkung des Laserstrahles 52 erforderlich ist, kann das Transportband 62 kontinuierlich mit hoher Geschwindigkeit bewegt werden. Trotz einer eventuell sehr hohen Vorschubgeschwindigkeit lassen sich die gewünschten Sollbruchstellen exakt positionieren. Dies erfolgt mit Hilfe der Steuereinheit 74, die über die Steuerleitung 72 den Betrieb des Elektromotors 70 und des Er : YAG-Lasers 50 so aufeinander abstimmt, daß zwischen zwei Laserimpulsen ein gewünschter Verschiebeweg des Transportbandes 52 und damit des Glasrohres 56 erzielt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bearbeitung von Glas, Kunststoff, Halbleitern, Holz oder Keramik mittels Laserstrahlung, wobei man ein aus einem dieser Stoffe bestehendes und zu bearbeitendes Werkstückteil mit einem Laserstrahl beaufschlägt und dadurch die Beschaffenheit des Werkstückteiles verändert, dadurch gekennzeichnet, daß man Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von etwa 1,4 μm bis 3,0 μm verwendet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man die Beschaffenheit des Werkstückteiles durch Strukturieren verändert.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß man die Laserstrahlung auf das Werkstückteil fokussiert und Strukturen mit einer Ausdehnung von etwa 1 μm bis 500 μm aufbringt.
4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß man ein Glasteil mit dem Laserstrahl beaufschlägt, lokalisiert aufschmilzt und anschließend abkühlt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß man zum Öffnen einer Glasampulle die Wand der Glasampulle lokalisiert aufschmilzt, anschließend abkühlt und dann mechanisch aufbricht.
6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der voranstehenden Ansprüche mit einer Laserstrahlungsquelle, die Laserstrahlung in Form eines Laserstrahles emittiert, und mit einer Fokussierungsoptik, die die Laserstrahlung auf ein Werkstückteil fokussiert, dadurch gekennzeichnet,

daß die Laserstrahlung eine Wellenlänge von etwa 1,4 μm bis 3,0 μm aufweist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung eine den Laserstrahl (12; 52) und das Werkstückteil (20; 56) relativ zueinander bewegend Bewegungseinrichtung (36, 38, 70,) umfaßt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlungsquelle (50) gepulste Laserstrahlung emittiert mit einer Pulsdauer von etwa 1 ps bis 10 ms und mit einer Energie von etwa 1 mJ bis 100 J.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlungsquelle (10) kontinuierliche oder kontinuierlich modulierte Laserstrahlung emittiert mit einer Leistung von etwa 1 mW bis 100 W.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1

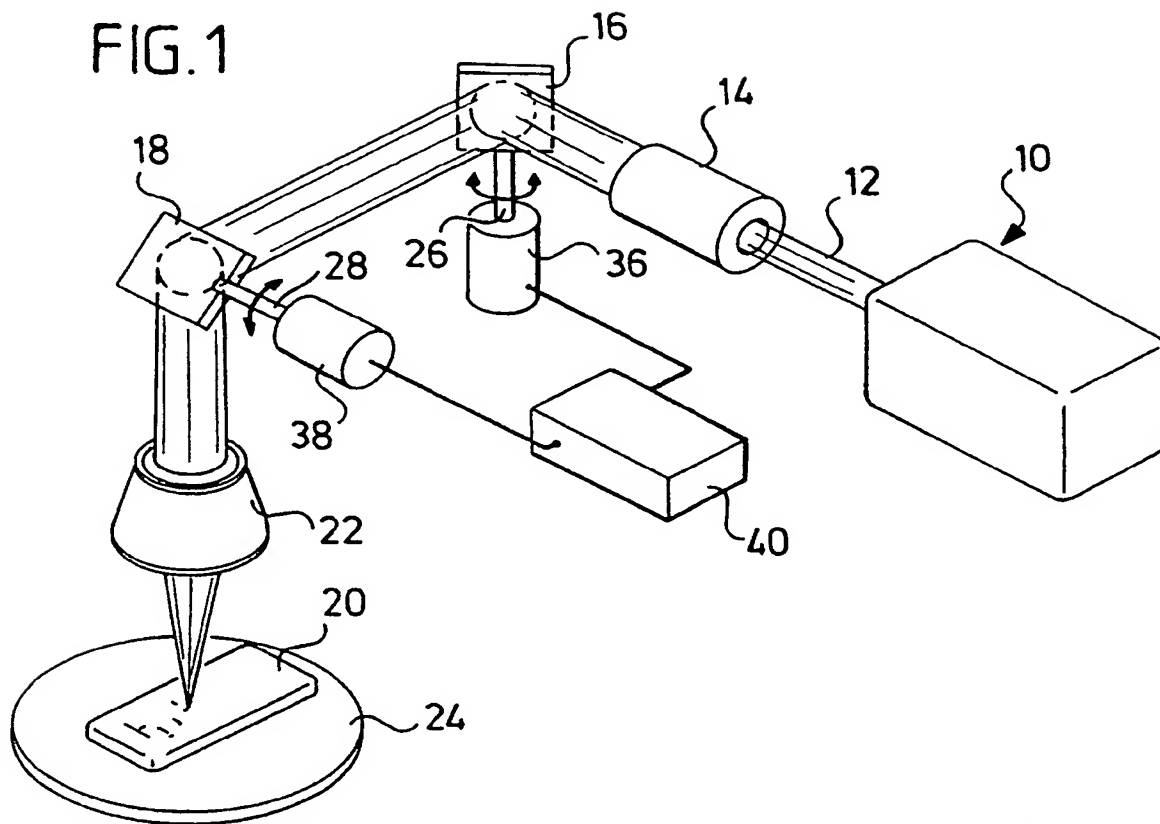


FIG. 2

